第 38 卷第 4 期 生 态 学 报 Vol.38,No.4
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201701060056
李博,苏飞,杨智,韩增林,彭飞.基于脆弱性视角的环渤海地区人海关系地域系统时空特征及演化分析.生态学报,2018,38(4):1436-1445.
Li B, Su F, Yang Z, Han Z L, Peng F.Vulnerability-based analysis of the spatial-temporal dynamic patterns of the human-sea territorial system of the Bohai-rim region, China.Acta Ecologica Sinica,2018,38(4):1436-1445.

基于脆弱性视角的环渤海地区人海关系地域系统时空特征及演化分析

李 博[1,*],苏 飞[2],杨 智[1],韩增林[1],彭 飞[1]

1 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心,大连 116029
2 浙江工商大学旅游与城乡规划学院,杭州 310018

摘要:脆弱性已成为全球环境变化与可持续性科学研究的前沿领域,人海关系地域系统作为海洋地理学研究的重要内容,研究一定地域范围内人海地理空间的结构特征及演变规律。以环渤海地区为例,首先,对其海洋资源、海洋科技力量和人才资源及海洋基础设施等进行概述,分析海洋经济的发展过程;其次,以脆弱性为切入点,运用集对分析法分析环渤海地区人海关系地域系统脆弱性演进及影响因素;最后,运用三角图法对 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆弱性进行类型分异,进而有针对性地提出降低脆弱性的对策。结果表明:①环渤海地区人海关系地域系统脆弱性指数发展变化不同,但均呈下降态势,稳定性显著增强;②环渤海地区人海关系地域系统脆弱性属于单一子系统脆弱型的次数较少,复合子系统脆弱型和均衡脆弱型是主要类型,出现次数较多;③可通过加强陆海统筹,优化海洋产业结构,加强海洋污染治理,推进海洋科学技术创新,加快人才培养和加强基础设施建设等措施实现降低人海关系地域系统脆弱性。

关键词:人海关系地域系统;脆弱性;集对分析;三角图法;环渤海地区

Vulnerability-based analysis of the spatial-temporal dynamic patterns of the human-sea territorial system of the Bohai-rim region, China

LI Bo[1,*], SU Fei[2], YANG Zhi[1], HAN Zenglin[1], PENG Fei[1]

1 *Study Center of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*
2 *School of Tourism & Urban-Rural Planning, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou* 310018, *China*

Abstract: Vulnerability in human-sea territorial system is a research frontier in regional sustainable development. Studies carries out in human-sea system are of significance to not only the enrichment of the theories of human-land territorial system, but also marine sustainable development. Firstly, we analyzed the marine resources, marine science and technology, marine infrastructure, and marine economic development process of the Bohai-rim region in China. The human-sea territorial systems include three subsystems: the human-sea resources and environment subsystem, the human-sea economic subsystem, and the human-sea society subsystem. Subsequently, we combined the methods of set pair analysis, vulnerability assessment, and combination weight to obtain each index weight, taking the Bohai-rim region as an example to analyze the evolution trends and major factors influencing the vulnerability of the human-sea territorial system from 1996 to 2012. On the whole, the results showed a declining trend of the vulnerability of human-sea territorial system of the Bohai-rim region during the past 17 years. This shows that the vulnerability index of Shandong is smaller than that of the other provinces; the vulnerability index of Liaoning which belongs to the second tier declines the most; Hebei and Tianjin belong

基金项目:教育部人文社会科学重点研究基地重大课题(16JJD790021);国家自然科学基金项目(41601114)

收稿日期:2017-01-06; **网络出版日期**:2017-11-12

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: libo_ok@126.com

to the third tier, and their vulnerability indexes are relatively higher with the likelihood of a greater decline. Lastly, we classified the vulnerability of human-sea territorial system of the Bohai-rim region from 1996 to 2012 by using the triangle methodology. The results showed that the vulnerability of single subsystem was less than the vulnerabilities of balanced and complex subsystems. This suggests that to reduce the vulnerability of human-sea territorial systems of the Bohai-rim region, we should strengthen the co-ordination of land and sea to optimize the marine industrial structure, take measures to strengthen the control of marine and environmental protection, develop science and technology and cultivate talents, at the same time, to strengthen the construction of marine infrastructure. This paper presents some references for improving the theory and method of the research on the vulnerability of coastal regional and human-sea territorial systems in different regions under the consistent framework.

Key Words: Human-sea territorial system; vulnerability; set pair analysis; triangle methodology; Bohai-rim region

脆弱性起源于自然灾害研究[1],随着研究领域的不断拓展,已成为全球环境变化与可持续性科学研究的前沿领域之一[2-3],其研究从侧重关注全球变化的自然环境系统的脆弱性向强调自然与人文系统脆弱性的综合作用发展[4],并呈现出多学科交融的趋势。目前,耦合系统(人-环境耦合系统[5]、人地系统[6-7]、社会-生态系统[8]等)作为脆弱性研究的基本分析单元,是关注的热点。人海关系地域系统是对人地关系地域系统的完善[9-10],已经成为了海洋地理学的重要研究内容[11]。

国外关于人海关系地域系统脆弱性研究的相关文献较少,仅有的也只是零星分布在与海洋相关的某个方面。如阿德里安托等[12]对日本岛屿经济脆弱性的研究,吉约蒙等[13]和维特等[14]分析小岛屿国家经济脆弱性。国内对沿海地区脆弱性的研究主要集中在自然灾害脆弱性对经济产生的影响等方面。如杨林和李渊[15]及赵昕等[16]研究我国沿海地区海洋灾害对经济产生的脆弱性影响。侯京明等[17]基于灾害风险评估理论分析台州市海啸的脆弱性。李琳琳等[18]分析粗糙集理论及组合赋权方法在风暴潮灾害脆弱性评价中的适用性。于谨凯等[19]对中国 11 个沿海省市区的海洋经济系统脆弱性进行了实证分析。赵国杰等[20]以河北省为例研究海岸带社会经济系统的脆弱性。随着劳动力、资金和技术等生产要素不断向环渤海地区积聚,“人”与“海”、“陆”与“海”之间矛盾日益凸显。人口骤增和沿海工业发展带来的陆源污染物入海量剧增导致海洋污染加重;传统海洋资源过度开发且未能有效寻求新兴可替代资源导致可利用资源匮乏[21];海洋灾害频繁,加之沿海湿地和海洋保护区面积日益萎缩等生态破坏导致近海资源环境承载力不断降低[22-23];过度依赖海洋资源而形成的产业结构,新型多样性经济结构未成熟;海洋基础设施支撑力不强,海洋科技创新不足[24]等威胁着环渤海地区人海关系地域系统的稳定性。本文从脆弱性视角对其人海资源环境-经济-社会耦合系统分析,通过多要素、多尺度、多流向和多重循环特性探讨环渤海地区人海关系地域系统发展趋势及影响因素,为人海关系地域系统研究提供新范式,具有重要的理论意义和实践价值。

人海关系地域系统是人与海洋两方面的要素在特定的地域按一定的规律交织在一起,相互关联、相互影响、相互制约、相互作用而形成的具有一定结构和功能的复杂系统,具有地域性、复杂性、开放性、动态关联性、脆弱性、恢复性、适应性、风险性等特征[25-26]。本文综合人海关系地域系统和脆弱性的定义,得出人海关系地域系统脆弱性的内涵:人海关系地域系统由于受内部结构制约和外部胁迫或扰动影响,以及恢复应对能力不足而使系统受损,是内外因共同作用的结果。脆弱性作为人海关系地域系统的一种本质属性,随着内部结构和外部扰动因素的改变而变化,是一个动态演变过程。

1　区域概述

环渤海地区是指环绕着渤海(包括部分黄海)的沿岸地区所组成的经济区域,主要包括辽宁省、河北省、天津市和山东省三省一市的海域与陆域[27](图 1)。

1.1 海洋资源

渤海是我国最大的内海,由莱州湾、渤海湾、辽东湾、渤海海峡和中部盆地组成,海域面积约 7.7 万 km^2,平均水深 18m,具有丰富的海洋生物资源、矿物资源和海洋能源资源。2012 年海洋捕捞产量和海水养殖产量分别为 384 万 t 和 739 万 t,占全国比重分别为 27.6%和 44.9%。探明石油储量为 5.6 亿 t,可开采储量 3.5 亿 t;天然气储量为 154 亿 m^3,可开采储量 95.2 亿 t。2012 年原油产量和天然气产量占全国比重分别为 72.2%和 25.8%。环渤海沿岸主要有东北盐区、长芦盐区和山东盐区,2012 年产盐量2841.1万 t,占全国比重 78%。此外,环渤海地区海洋能资源丰富,波浪能理论装机容量高达 153 万 kW,500kW 以上潮汐能可开发量达到 60.7 万 kW,盐差能技术可开发量 90 万 kW,蕴藏量达 415 万 kW,2012 年利用风能发电量达到 725.9 万 kW。环渤海地区规模以上港口生产用码头泊位数 877 个,沿海 6 个(大连、天津、秦皇岛、烟台、青岛、日照)年吞吐量超千万吨大型港口和 4 个(丹东、营口、龙口、威海)年吞吐量超百万吨中型港口[28](表 1)。

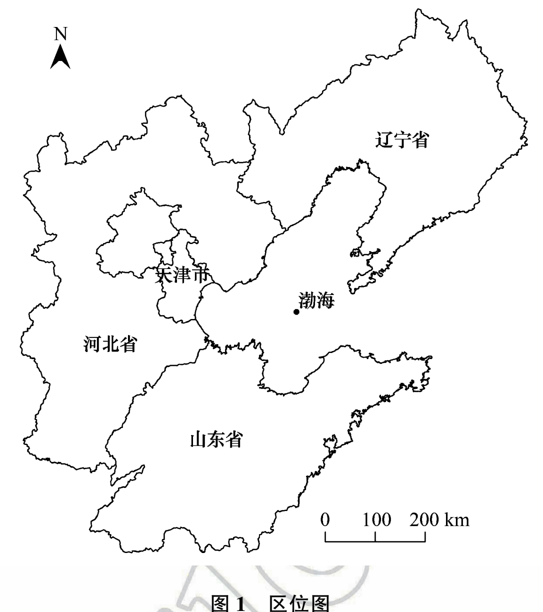


图 1 区位图

Fig.1 Area bitmap

表 1 2012 年环渤海地区海洋资源表

Table 1 Marine recourse of the Bohai-rim region in 2012

指标 Index	天津	河北	辽宁	山东	环渤海 Bohai-rim	全国 China
海岸线长度 Coastline length/km	153.3	686	2922.4	3121	6882.7	18800
宜建中级以上泊位港址 Above intermediate berth/个	1	6	21	24	52	164
岛屿面积 Islands area/km^2	1.6	8.4	191.5	136	337.5	7186.3
海洋 A 级旅游景区 Marine A tourist attraction/处	58	198	163	388	807	1664
海洋生物资源量 Marine biomass resources/$\times10^4$t	3	63	372	685	1123	3033.3
海盐产量 Sea salt production/$\times10^4$t	169.9	334.7	117.4	2219.1	2841.1	2986.4
石油产量 Oil production/$\times10^4$t	2680.3	237.8	14.3	275	3207.4	4444.8
天然气产量 Natural gas production/$\times10^4 m^3$	246705	55570	1580	12521	316376	1228200
风能发电量 Wind power generation/$\times10^4$kW	27.8	22.1	142.9	534.1	726.9	4352.9

表中数据依据《中国统计年鉴》、《中国海洋统计年鉴》、国家旅游局网站等相关资料整理得来;海洋生物资源量包括海洋捕捞产量和海水养殖产量

1.2 海洋经济

近 20 年来,环渤海地区利用丰富的海洋资源和后天建立的完善设施及雄厚的科研力量,使海洋经济成为环渤海地区经济增长中最具潜力和最具发展空间的重要领域。伴随"天津滨海新区"、"辽宁沿海经济带"、"山东半岛蓝色经济区"等上升为国家战略规划后,其海洋经济更进一步带动了地区经济快速发展。

从表 2 中可以看出:(1)区域海洋经济发展具有不平衡性。由于资源环境状况、经济基础、社会历史发展等因素的不同,环渤海地区海洋经济发展水平差异悬殊,各省(市)海洋经济总产值占全国海洋经济总产值比重差别较大。同一省(市)不同年份海洋经济总产值占全国海洋经济产值比重也不同。(2)发展海洋经济是助推区域经济增长的动力。1996—2012 年环渤海地区海洋经济产值年均增长率均远大于地区 GDP 年均增长率。一方面,海洋产业产值不断增长,直接促进地区生产总值增长;另一方面,海洋产业发展带动相关陆域产业发展,间接提高了地区生产总值。

表 2　环渤海地区海洋经济发展情况

Table 2　Marine economic development in the Bohai-rim region

指标 Index	年份 Year	天津	河北	辽宁	山东	环渤海 Bohai-rim
海洋经济总值占全国比重/% Total ocean economy accounts for the whole country	1996	3.9	1.9	18.6	7.3	31.7
	2004	6.5	1.9	13.2	6.4	28
	2012	7.9	3.2	17.9	6.8	35.8
海洋经济总值占地区 GDP 比重/% Total ocean economy accounts for the region's GDP	1996	10.1	1.6	8.9	6.6	6.6
	2004	35.9	3.3	12.9	13.6	12.3
	2012	30.6	6.1	17.9	13.7	15.7
海洋经济年均增长率/% Annual growth rate of the ocean economy	1996—2012	26.6	29.7	19.1	19.9	21.2
地区 GDP 年均增长率/% Average annual growth rate of regional GDP	1996—2012	16.6	13.7	14.4	13.9	14.3

表中数据依据 1997—2013 年《中国海洋统计年鉴》、《中国统计年鉴》和相关资料整理得来

2　指标体系的构建与方法选取

2.1　指标体系的构建

依据人海关系地域系统的特点将其划分为人海资源环境子系统、人海经济子系统和人海社会子系统,借鉴相关研究[29-32],遵循科学性、数据可获取性、可操作性和代表性原则,选取 19 个指标构建环渤海地区人海关系地域系统脆弱性评价指标体系(表 3)。指标体系分为 3 层,第一层为总目标:人海关系地域系统脆弱性;第二层为准则层:人海经济子系统 E、人海资源环境子系统 R 和人海社会子系统 S;第三层为指标层:人海经济子系统 E:E_1-E_5,人海资源环境子系统 R:R_1-R_8,人海社会子系统 S:S_1-S_6。指标分别从正、负两个方面反映其对人海关系地域系统的影响。当指标性质为正,其值越大,表明其对人海关系地域系统脆弱性贡献值越强,反之则反是;当指标性质为负,其值越大,表明其对人海关系地域系统脆弱性贡献值越弱,反之则反是。

2.1.1　数据来源

资料来源于 1997—2013 年《中国海洋统计年鉴》、《中国海洋年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国海洋环境质量报告》及相关年份环渤海地区省市的统计年鉴和统计公报数据。

2.1.2　权重确定

采用主观赋权(AHP)和客观赋权(熵值法)相结合的组合赋权法确定指标权重(表 3),步骤如下:

(1)AHP 赋权法[33],得各个指标主观权重 w_{1p},$p=1,2,\cdots,n$。

(2)熵值赋权法[34],得各个指标客观权重 w_{2p},$p=1,2,\cdots,n$。

(3)指标主观权重 w_{1p} 和客观权重 w_{2p} 应尽可能接近,根据最小相对信息熵原理得组合权重 w_p,$p=1,2,\cdots,n$[33]。

2.2　评价模型及步骤

集对分析是由赵克勤学者提出的一种定量分析理论[35],用于解决多目标决策和多属性评价。人海关系地域系统受诸多因素影响,具有典型不确定性特征,而脆弱性是人海关系地域系统的属性之一,研究这个复杂系统的脆弱性属性的演变,可以采用集对分析。本文借用集对分析法来评估环渤海地区人海关系地域系统的属性-脆弱性变化,以科学分析 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统时空变化趋势。

集对分析基本思路:在一定问题背景下对所论两个集合所具有的特性作同、异、反分析并加以度量刻画,得出这两个集合在所论问题背景下同、异、反联系度表达式[35]。如将有关联集合 Q、T 看成一个集对 B,并按照集对某一特性在问题 E 的背景下,建立其确定与不确定关系。其联系度 μ 用公式表示为:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \tag{1}$$

表 3 人海关系地域系统统脆弱性指标及权重

Table 3 Indicator system and weight of vulnerability of human-sea territorial system

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	代码 Code	指标名称及单位 Index layer	指标含义解释及性质 Index meaning	权重 Weighting 熵值法 Entropy evaluation method	AHP	合成法 Synthesis method
人海关系地域	人海经济	E_1	海洋第一产业产值/亿元	反映海洋第一产业发展状况(负)	0.018	0.030	0.027
系统脆弱性	脆弱性 E	E_2	海洋第二产业产值/亿元	反映海洋第二产业发展状况(负)	0.084	0.057	0.064
Vulnerability of human-		E_3	海洋第三产业产值/亿元	反映海洋第三产业发展状况(负)	0.040	0.067	0.061
sea territorial system		E_4	海洋生产总值占 GDP 比重/%	反映海洋经济对 GDP 的贡献度(负)	0.059	0.084	0.078
		E_5	海岸线海洋经济密度/(亿元/km)	反映海洋经济总体发展状况(负)	0.043	0.094	0.081
	人海资源环境	R_1	海洋生物资源量/万 t	反映海洋生物资源丰裕度(负)	0.035	0.067	0.059
	脆弱性 R	R_2	矿产资源丰裕度	根据公式①计算(负)	0.060	0.053	0.055
		R_3	人均涉海湿地面积/(m^2/人)	反映海洋湿地资源(负)	0.049	0.041	0.043
		R_4	人均海洋类型保护区面积/(m^2/人)	反映海洋生态保护状况(负)	0.082	0.033	0.044
		R_5	沿海地区亿元工业固体废物排放量/(t/亿元)	反映发展海洋经济牺牲环境代价(正)	0.034	0.026	0.028
		R_6	沿海地区万元 GDP 入海废水量/(t/万元)	反映发展海洋经济牺牲环境代价(正)	0.014	0.020	0.019
		R_7	污染项目治理数/项	反映环境治理力度(负)	0.062	0.021	0.030
		R_8	海洋灾害损失/亿元	反映海洋灾害影响(正)	0.047	0.073	0.067
	人海社会	S_1	涉海就业人数/万人	反映发展海洋经济所形成的就业能力(负)	0.058	0.082	0.076
	脆弱性 S	S_2	港口货物吞吐量/万 t	反映港口吞吐能力(负)	0.061	0.039	0.045
		S_3	海洋科技活动人员/人	反映海洋人才资源状况(负)	0.074	0.076	0.077
		S_4	海洋科技课题/项	反映海洋科技支持力(负)	0.063	0.033	0.040
		S_5	滨海观测台站/个	反映海洋公共服务基础设施建设水平(负)	0.046	0.027	0.031
		S_6	沿海地区社会固定资产投资/亿元	反映沿海地区社会投资水平(负)	0.071	0.076	0.075

公式①矿产资源丰裕度$=\sum w_i p_i$, i 包含海洋原油产量、原盐产量、海洋天然气产量和海洋砂矿产量,p_i为标准化处理后数据,w_i为指标权重

式中,对集对 B 分析,有 N 个特性数,其中 S、P 和 F 分别为集合 Q 与 T 的同一、对立和差异性个数,且$N=S+P+F$。i 和 j 是差异度和对立度系数,规定 i 取值$[-1,1]$,j 值恒为-1。$a=S/N$、$b=F/N$、$c=P/N$ 分别为同一度、差异度和对立度,显然 $a+b+c=1$ [35]。

根据集对分析思想,设人海关系地域系统脆弱性问题为 $E=\{H,I,W,X\}$,评价方案 $H=\{h_1,h_2,\cdots,h_m\}$ $(m=68)$,每个评价方案有 n 个指标 $I=\{i_1,i_2,\cdots,i_n\}$ $(n=19)$,指标权重 $W=\{w_1,w_2,\cdots,w_n\}$,评估指标值记为 $d_{kp}=(k=1,2,\cdots,m,p=1,2,\cdots,n)$,则问题 E 的评价矩阵 D 为:

$$D=\begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{pmatrix} \tag{2}$$

确定最优方案集 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$ 和最劣方案集 $Y=\{y_1,y_2,\cdots,y_n\}$ 。集对 $B\{H_k,U\}$ 在区间 $\{X,Y\}$ 上的联系度 u 为:

$$\begin{cases} \mu_{(H_k,U)}=a_k+b_k i+c_k j \\ a_k=\sum w_p a_{kp} \\ c_k=\sum w_p c_{kp} \end{cases} \tag{3}$$

式中, a_{kp} 、c_{kp} 分别为评价指标 d_{kp} 与集合$[X_p, Y_p]$的同一度和对立度。

$$\begin{cases} a_{kp} = \dfrac{d_{kp}}{x_p + y_p} \\ c_{kp} = \dfrac{x_p y_p}{d_{kp}(x_p + y_p)} \end{cases} \qquad \begin{cases} a_{kp} = \dfrac{x_p y_p}{d_{kp}(x_p + y_p)} \\ c_{kp} = \dfrac{d_{kp}}{x_p + y_p} \end{cases} \tag{4}$$

当评价指标(d_{kp})为正向时　　　　当评价指标(d_{kp})为负向时

方案 H_k 与最优方案的贴近度 r_k 定义式为:

$$r_k = \frac{a_k}{a_k + c_k} \tag{5}$$

r_k 指数反映了被评价方案 H_k 与最优方案集合 X 的贴近度。H_k 指数越大表明贴近度越高,则待评价对象就越接近最优评价标准。本文用 r_k 指数反映环渤海地区人海关系地域系统脆弱性强弱程度,当 r_k 指数较小时表示系统脆弱性较低[36-37]。

3　结果及分析

3.1　评价结果

根据集对分析法,计算 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆弱性指数(表 4)。

表 4　环渤海地区人海关系地域系统脆弱性评价结果

Table 4　Results of vulnerability of human-sea territorial system in the Bohai-rim region

年份 Year	天津	河北	辽宁	山东	年份 Year	天津	河北	辽宁	山东
1996	0.661	0.859	0.583	0.349	2005	0.371	0.766	0.294	0.206
1997	0.649	0.851	0.561	0.365	2006	0.417	0.587	0.307	0.183
1998	0.664	0.858	0.546	0.362	2007	0.413	0.566	0.245	0.152
1999	0.666	0.858	0.546	0.329	2008	0.433	0.541	0.217	0.136
2000	0.648	0.821	0.509	0.311	2009	0.427	0.640	0.163	0.132
2001	0.591	0.870	0.522	0.341	2010	0.417	0.587	0.151	0.110
2002	0.543	0.849	0.465	0.231	2011	0.347	0.494	0.129	0.100
2003	0.450	0.785	0.371	0.234	2012	0.351	0.457	0.123	0.091
2004	0.407	0.751	0.347	0.223					

从表 4 可以明显看出 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆弱性指数发展趋势和区域差异。各地区脆弱性指数整体上均呈现下降趋势,下降幅度依次是辽宁 0.48、河北 0.402、天津 0.319、山东 0.264。1996—2000 年,这一阶段河北和天津的脆弱性指数相对稳定,辽宁和山东的脆弱性指数则出现小幅度下降。2000—2012 年,这一阶段各地区脆弱性指数变化差异明显。2004—2005 年、2008—2009 年河北省的脆弱性指数出现短暂反弹上升,2001—2004 年、2005—2008 年、2009—2012 年脆弱性指数是下降阶段。2000—2005 年天津的脆弱性指数连续下降,2005—2006 年反弹上升,2006—2010 年脆弱性指数则相对稳定,2010—2011 年脆弱性指数又明显下降。2001—2012 年辽宁和山东的脆弱性指数均处于持续下降阶段,辽宁下降幅度明显大于山东。在研究期内,河北的脆弱性指数整体较大,虽然已出现大幅下降,但与山东相比,其脆弱性指数仍有较大下降空间。天津和辽宁的脆弱性指数分别排第二、三位,从 2005 年之后天津的脆弱性指数没有明显变化,其脆弱性指数相对较大,同样具有较大下降空间;辽宁的脆弱性指数虽然在开始阶段较大,但发展较好,其脆弱性指数下降幅度最大。山东的脆弱性指数整体相对较小,下降空间不大。

3.2　因素分析

3.2.1　人海经济子系统分析

环渤海地区 4 省(市)海洋产业发展水平不同且海洋三次产业结构不尽合理。以 2012 年为例,天津的海

洋三次产业比例为 0.2:66.7:33.1,二产比重过高,第三产业相对第二产业比重较小;河北的海洋三次产业比例为 4.4:54:41.6,呈现出二、三、一产业结构,但其海洋产业总产值较小,在环渤海乃至全国处于落后水平;辽宁的海洋三次产业比例为 13.2:39.5:47.3,呈现三、二、一最优的产业模式,但一产比重高出全国平均水平 2.5 倍;山东的海洋三次产业比例为 7.2:48.6:44.2,二、三产业比例相差不大,已接近最优的三、二、一产业结构模式。在研究期内环渤海地区的海洋第二产业优势明显,海洋渔业、海洋油气业、海洋交通运输业和滨海旅游业四大传统支柱产业增加值占主要海洋产业增加值 84.2%,而海洋医药和海洋电力等新兴产业增加值比重较小。海洋第三产业相对薄弱,支撑海洋第三产业发展的海洋交通运输业和滨海旅游业占据着绝对优势,海洋科研教育管理服务业增长较快,但比重较小。同一区域内海洋产业发展差异明显,以辽宁为例,大连的海洋产业产值占辽宁省海洋经济总产值一半以上,而其他沿海地区的海洋产业产值则明显较弱。

3.2.2 人海资源环境子系统分析

环渤海地区环境污染加重,海洋灾害频繁。环渤海地区是人口和工业密集区,半封闭的地形结构,导致其海水交换能力较差,海洋生态系统脆弱。长期以来,环渤海地区处于持续加速开发状态,近岸海域受工业“三废”污染和海洋资源开发中所排放的污水、废物以及漏油事故等影响,海域污染严重,并引发一系列次生灾害和衍生灾害。2011 年与 2003 年相比,受污染海域面积增加 10300km^2,增长 48.3%。海水富营养化程度日益严重,对海洋生物造成了严重威胁,适宜养殖水域面积持续缩减,旅游风景区水体透明度明显降低。赤潮频发,2002 年发生 14 次,2010 年发生 7 次,赤潮污染面积不断加大[38]。此外,环渤海地区受海冰等海洋灾害影响较大。2008 年因海冰灾害直接经济损失 34 亿元;2010 年海冰灾害直接经济损失达 63.18 亿元,港口及码头封冻 296 个,船只损毁 7157 艘,海水养殖受损面积达 20.8 万 hm^2,间接经济损失难以估量[39]。

3.2.3 人海社会子系统分析

环渤海地区海洋科技实力和人才力量整体雄厚,区域差异显著。山东处于优势位置,天津和辽宁的海洋科技实力处于中上游水平,河北的海洋科技实力最弱。山东和辽宁的科技力量和人才资源多集中在青岛、沈阳和大连,而其他地区相对薄弱。人才类型中从事基础海洋科技研究人员居多,具有交叉学科知识的应用型研究和高层次海洋技术人员较少。山东的科研贡献率遥遥领先,海洋科技对海洋经济的贡献率为 50%,远远高出全国的 20%平均水平[40],天津、辽宁和河北的海洋科技成果转化率明显较低,产业化进展较慢,高新技术产业比重较小。

4 脆弱性类型分异及对策

4.1 三角图法分析

借用三角图法[41-42]对 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统进一步做时间序列分类研究,目的是划分环渤海地区人海关系地域系统的脆弱性类型并直观地看出其演化趋势,进而科学地提出可持续发展对策。沿海地区人海关系地域系统脆弱性指数 VT(vulnerability of human-sea territorial system)是由人海资源环境子系统脆弱性指数 VR (vulnerability of human-sea resource and environment subsystem)、人海经济子系统脆弱性指数 VE (vulnerability of human-sea economic subsystem)和人海社会子系统脆弱性指数 VS (vulnerability of human-sea social subsystem)加和组成,即:$VT= VR+VE+VS$[41]。根据沿海地区人海关系地域系统脆弱性指数的不同,以单一子系统脆弱性指数和两个子系统脆弱性指数之和在人海关系地域系统脆弱性指数中达 80%为标准,将沿海地区人海关系地域系统脆弱性分为单一子系统脆弱型:人海资源环境子系统脆弱型(R 型)、人海经济子系统脆弱型(E 型)和人海社会子系统脆弱型(S 型);复合子系统脆弱型:人海经济资源环境子系统脆弱型(RE 型)、人海经济社会子系统脆弱型(ES 型)和人海资源环境社会子系统脆弱型(RS 型);均衡脆弱型:人海经济资源环境社会子系统均衡脆弱型(RES 型)[41]。

根据集对分析法,计算出各个子系统的脆弱性数值,并加权求和,将 3 个子系统脆弱性数值分别除以总和,得出各个子系统所占比例值。根据脆弱性分类标准,确定 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆

弱性的分类(表 5)。

表 5　1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆弱性类型

Table 5　Vulnerability types of human-sea territorial system in the Bohai-rim region from 1996 to 2012

年份 Year	天津	河北	辽宁	山东	年份 Year	天津	河北	辽宁	山东
1996	RES	RES	ES	ES	2005	RS	RES	RES	RES
1997	RES	RES	RES	ES	2006	RS	RS	RES	RES
1998	RES	RES	RES	ES	2007	RS	RES	RES	RS
1999	RES	RES	RES	ES	2008	RS	RS	RES	RS
2000	RES	RES	RES	ES	2009	RS	RES	RES	RS
2001	RES	RES	RES	RES	2010	RS	RES	RES	R
2002	RES	RES	RES	RES	2011	RS	RES	RES	R
2003	RS	RES	RES	RES	2012	RS	RES	RES	R
2004	RS	RES	RES	RES					

人海资源环境子系统脆弱型(R 型)、人海经济子系统脆弱型(E 型)和人海社会子系统脆弱型(S 型);复合子系统脆弱型:人海经济资源环境子系统脆弱型(RE 型)、人海经济社会子系统脆弱型(ES 型)和人海资源环境社会子系统脆弱型(RS 型);均衡脆弱型:人海经济资源环境社会子系统均衡脆弱型(RES 型)

从表 5 可以清晰看出 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆弱性类型及发展趋势。从类型上看,在研究期内单一子系统脆弱型有 3 次,均为 R 型;复合子系统脆弱型有 21 次,15 次 RS 型,6 次 ES 型;人海经济-资源环境-社会子系统均衡脆弱型次数最多,一共有 44 次。表明单一子系决定环渤海地区人海关系地域系统脆弱性年份较少,而复合子系统脆弱型和均衡脆弱型出现年份较多。从发展趋势上看,在研究期内天津人海关系地域系统由均衡脆弱 RES 型转向 RS 型,表明其人海经济子系统脆弱性所占比重逐渐减小。河北和辽宁人海关系地域系统脆弱性以 RES 型为主,其经济、资源环境和社会 3 个子系统脆弱性协调的年份较多。山东人海关系地域系统脆弱性类型变化最为复杂,由 ES 型经过 RES 型、RS 型和 R 型的转变。在脆弱性类型的转变过程中,其人海资源环境子系统脆弱性逐渐凸显。

4.2　降低脆弱性对策

根据脆弱性类型的划分,找出影响人海关系地域系统脆弱性的主要要素,进而提出有针对性的对策建议。(1)人海资源环境子系统脆弱型(R 型)的主要矛盾是人海资源环境子系统内的问题。因此,应适当控制资源开采的规模,加强培育可再生资源和非可再生资源的勘探;发展资源综合利用产业,提高资源开发利用的广度和深度;加强陆地和海上污染源监测,控制好陆地污染物排放入海,加强废水、固体废弃物项目的治理,做好海上流动污染治理特别是石油生产和海洋倾废项目管理,加快治理好重点污染海域;完善环境突发事件如油泄漏、化学品泄漏的应急反应预案。(2)人海经济社会子系统脆弱型(ES 型)的主要矛盾是人海经济子系统和人海社会子系统内的问题。首先,沿海地区应结合自身优势,培育一批侧重延伸具有相对优势海洋产业链,加强陆海产业之间相互协调,带动海陆产业共同发展。在加强陆海统筹基础上通过优化资源配置,协调海洋三次产业比例关系,不断推进海洋产业结构升级。其次,加大教育、科技和科研投入力度,鼓励企业和科研单位相结合;注重科技成果的转化,依靠科技成果转化培育和发展新型海洋产业;加快人才培养,建立一批能够突破关键技术和发展海洋高新技术专业人才。此外,需要加强港口配套设施和交通建设,拓展港口经济腹地;推进海洋观测系统、海洋原始信息采集与数据共享平台设施和新能源等基础设施建设。(3)人海资源环境社会子系统脆弱型(RS 型)的主要矛盾是人海资源环境子系统和人海社会子系统内的问题。应控制资源开采的规模,提高资源利用效率,加强环境保护、提高三废利用效率,增加科教投资和加强相应的基础设施建设等。(4)对于复合子系统脆弱型和人海经济资源环境社会子系统均衡脆弱型(RES 型)的沿海城市,不同省份应根据自身情况侧重调整脆弱性较高的方面。

5　结论和讨论

(1)人海关系地域系统是人地关系地域系统研究的重要内容。本文以脆弱性为切入点,分别运用集对分

析法和三角图法对 1996—2012 年环渤海地区人海关系地域系统脆弱性的发展趋势及类型进行研究。通过集对分析法表明环渤海地区人海关系地域系统脆弱性指数整体呈下降态势,稳定性显著增强;三角图法得出环渤海地区人海关系地域系统脆弱性属于单一子系统脆弱型的次数较少,复合子系统脆弱型和均衡脆弱型次数较多,是主要类型。可通过加强陆海统筹,优化海洋产业结构,加强海洋污染治理,推进海洋科学技术创新,加快人才培养和加强基础设施建设等措施实现降低脆弱性。

(2)脆弱性研究是目前全球环境变化和可持续发展研究的前沿课题之一,引起相关国际性科学计划和机构的高度关注。人海关系地域系统是复杂的耦合系统,其发展受自内在因素、人及外部环境等多重因素扰动影响。本文尝试性将脆弱性引入到环渤海地区人海关系地域系统研究,通过多要素和多尺度探讨其地域空间的结构特性及其规律演变,为人海关系地域系统研究提供了一个新的范式。鉴于人海关系地域系统的复杂性,如何科学地刻画脆弱性在面对扰动因素下的作用机理和驱动机制将是研究的方向。

参考文献(References):

[1] Janssen M A, Schoon M L, Ke W M, Börner K. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. Global Environmental Change, 2006, 16(3):240-252.

[2] Kates R W, Clark W C, Corell R, Hall M, JaegerC C, Lowe I, McCarthy J J, Schellnhuber H J, Bolin B, Dickson N M, Faucheux S, Gallopin G C, Grübler A, Huntley B, Jäger J, Jodha N S, Kasperson R E, Mabogunje A, Matson P, Mooney H, Moore III B, O'Riordan T, Svedin U. Environment and development: sustainability science. Science, 2001, 292(5517): 641-642.

[3] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Kasperson J X, Luers A, Martello M L, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8074-8079.

[4] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards. Social Science Quarterly, 2003, 84(2): 242-261.

[5] 陈萍, 陈晓玲. 全球环境变化下人—环境耦合系统的脆弱性研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(4): 454-462.

[6] 李博, 韩增林. 沿海城市人地关系地域系统脆弱性研究——以大连市为例. 经济地理, 2010, 30(10): 1722-1728.

[7] 田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系. 地理研究, 2013, 32(1): 55-63.

[8] 余中元, 李波, 张新时. 社会生态系统及脆弱性驱动机制分析. 生态学报, 2014, 34(7): 1870-1879.

[9] 张耀光, 刘锴, 王圣云. 关于我国海洋经济地域系统时空特征研究. 地理科学进展, 2006, 25(5): 47-56.

[10] 张耀光. 从人地关系地域系统到人海关系地域系统——吴传均院士对中国海洋地理学的贡献. 地理科学, 2008, 28(1): 6-9.

[11] 李博, 韩增林, 孙才志, 狄乾斌. 环渤海地区人海资源环境系统脆弱性的时空分析. 资源科学, 2012, 34(11): 2214-2221.

[12] Adrianto L, Matsuda Y. Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions. Environmental Impact Assessment Review, 2002, 22(4): 393-414.

[13] Guillaumont P. An economic vulnerability index: its design and use for international development policy. Oxford Development Studies, 2009, 37(3): 193-228.

[14] Scott D, Dawson J, Jones B. Climate change vulnerability of the US northeast winter recreation-tourism sector. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2008, 13(5/6): 577-596.

[15] 杨林, 李渊. 海洋灾害脆弱性综合评价指标体系的设计. 海洋技术, 2013, 32(3): 133-137.

[16] 赵昕, 肖凡. 沿海地区经济系统海洋灾害脆弱性评价研究——以山东省台风灾害为例. 海洋经济, 2013, 3(3): 21-25.

[17] 侯京明, 高义, 王君成, 范婷婷, 闪迪, 王宗辰. 基于遥感的台州市海啸脆弱性评估. 海洋学报, 2016, 38(8): 12-23.

[18] 李琳琳. 我国沿海省市风暴潮灾害脆弱性组合评价研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014:18-21.

[19] 于谨凯, 魏云. 基于集对分析法的海洋经济系统脆弱性评价研究. 海洋经济, 2016, 6(2): 26-33.

[20] 赵国杰, 张炜熙. 区域经济社会脆弱性研究——以河北省为例.上海经济研究,2006, (1):65-69.

[21] 李志伟, 崔力拓. 集约用海对海洋资源影响的评价方法. 生态学报, 2015, 35(16): 5458-5466.

[22] 韩增林, 胡伟, 钟敬秋, 胡渊, 刘天宝. 基于能值分析的中国海洋生态经济可持续发展评价. 生态学报, 2017, 37(8): 2563-2574.

[23] 肖怡, 陈尚, 曹志泉, 夏涛, 郝林华. 基于 CVM 的山东海洋保护区生态系统多样性维持服务价值评估. 生态学报, 2016, 36(11): 3321-3328.

[24] 苏飞, 张平宇, 李鹤. 中国煤矿城市经济系统脆弱性评价. 地理研究, 2008, 27(4): 907-916.

[25] 刘桂春. 人海关系与人海关系地域系统理论研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2007:24-29.

[26] 韩增林, 刘桂春. 人海关系地域系统探讨. 地理科学, 2007, 27(6): 761-767.

[27] 黄盛. 环渤海地区海洋产业结构调整优化研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 37-38.

[28] 刘玉新, 王占坤, 崔晓健. 环渤海地区海洋经济发展研究. 海洋开发与管理, 2013, 30(5): 51-54.

[29] 李晓琴, 张炜熙. 海洋经济脆弱性的研究综述. 海洋经济, 2014, 4(1): 44-49.

[30] 王岩, 方创琳. 大庆市城市脆弱性综合评价与动态演变研究. 地理科学, 2014, 34(5): 547-555.

[31] 王长征, 刘毅. 论中国海洋经济的可持续发展. 资源科学, 2003, 25(4): 73-78.

[32] 狄乾斌, 韩增林, 孙迎. 海洋经济可持续发展能力评价及其在辽宁省的应用. 资源科学, 2009, 31(2): 288-294.

[33] 李巍, 郗永勤. 效率视角下的省域生态文明建设评价研究. 生态学报, 2016, 36(22): 7354-7363.

[34] 李博. 辽宁沿海地区人海经济系统脆弱性评价. 地理科学, 2014, 34(6): 711-716.

[35] 赵克勤. 基于集对分析的方案评价决策矩阵与应用. 系统工程, 1996, 12(4): 67-72.

[36] 李锋. 基于集对分析法(SPA)的中国旅游经济系统脆弱性测度研究. 旅游科学, 2013, 27(1): 15-28, 40-40.

[37] 韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 于建辉. 基于集对分析的鞍山市人地系统脆弱性评估. 地理科学进展, 2012, 31(3): 344-352.

[38] 张顺峰, 于洪军, 徐兴, 曹建荣, 刘文全, 苏乔. 环渤海区域近海污染特征分析及防治对策. 海洋开发与管理, 2012, 29(7): 71-75.

[39] 孙劭, 苏洁, 史培军. 2010 年渤海海冰灾害特征分析. 自然灾害学报, 2011, 20(6): 87-93.

[40] 李志鹏, 杜震洪, 张丰, 曹敏杰, 刘仁义. 基于 GIS 的浙北近海海域生态系统健康评价. 生态学报, 2016, 36(24): 8183-8193.

[41] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. 生态学报, 1995, 15(4): 345-350.

[42] 田光进, 张增祥, 张国平, 周全斌, 赵晓丽. 基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化. 生态学报, 2002, 22(7): 973-979.

